

深部找矿中地球物理弱异常识别方法与实践

邢宝隆

新疆维吾尔自治区地质局地球物理化学探矿中心

DOI:10.32629/gmsm.v9i1.2403

[摘要] 深部找矿是保障国家矿产资源安全的关键举措,地球物理弱异常识别在其中发挥着核心作用。本文聚焦自治区阐述了地球物理弱异常识别方法,包括数据预处理、特征提取、模型构建与优化等,分析了其在深部找矿中的实践应用,探讨了面临的挑战与未来发展方向,旨在为全国深部找矿工作提供理论支持与实践参考。

[关键词] 深部找矿; 地球物理弱异常识别; 地球物理弱异常方法

中图分类号: P3 **文献标识码:** A

Identification Method and Practice of Weak Geophysical Anomaly in Deep Exploration

Baolong Xing

Geophysical and Geochemical Prospecting Center, Uygur Autonomous Region Geological Bureau

[Abstract] Deep mineral exploration is a critical measure to ensure national mineral resource security, where geophysical weak anomaly detection plays a central role. This paper focuses on the autonomous region's geophysical weak anomaly detection methods, including data preprocessing, feature extraction, model construction and optimization. It analyzes practical applications in deep mineral exploration, explores challenges and future development directions, aiming to provide theoretical support and practical references for nationwide deep mineral exploration efforts.

[Key words] Deep prospecting; Geophysical weak anomaly identification; Geophysical weak anomaly method

引言

随着我国经济的持续快速发展,对矿产资源的需求日益增长,浅部矿产资源逐渐枯竭,深部找矿成为保障国家矿产资源安全的重要战略选择。然而,深部矿体引发的地球物理异常往往较弱,极易被背景噪声掩盖,准确识别地球物理弱异常对于发现深部矿体至关重要。新疆地域辽阔,矿产资源丰富,是我国重要的矿产资源基地之一,开展新疆深部找矿中地球物理弱异常识别方法与实践研究具有重要的现实意义。

1 地球物理弱异常识别方法

1.1 数据预处理

数据预处理是地球物理弱异常识别的基础环节,其主要目的是提高数据质量,减少噪声干扰,增强弱异常信号。常见的数据预处理方法包括滤波、去噪、归一化等。

1.1.1 滤波处理

滤波处理可有效去除数据中的高频噪声,保留与深部矿体相关的低频异常信号。不同类型的滤波方法适用于不同的地球物理数据和找矿目标。例如,低通滤波可有效去除重力勘探数据中的高频噪声,保留与深部矿体相关的低频重力异常;高通滤波能够去除区域背景场的影响,突出局部磁异常,适用于磁法勘探

数据;带通滤波则适用于提取地震勘探中特定频段的信号,增强与矿体相关的弱异常。

滤波方法	适用数据类型	噪声去除率	处理时间(秒/1000个数据点)
低通滤波	重力勘探数据	75%	0.5
高通滤波	磁法勘探数据	70%	0.4
带通滤波	地震勘探数据	80%	0.6

1.1.2 去噪处理

去噪方法	适用数据类型	信噪比提升幅度	计算复杂度
小波去噪	复杂地球物理信号	3-5dB	较高
中值滤波	含脉冲噪声数据	2-4dB	较低
卡尔曼滤波	动态地球物理数据	4-6dB	高

去噪处理可进一步消除数据中的脉冲噪声和随机噪声,提高数据的信噪比。小波去噪利用小波变换的多尺度分析特性,将信号分解到不同尺度上,对噪声所在尺度进行阈值处理,实现信号与噪声的分离,适用于处理复杂的地球物理信号;中值滤波是一种非线性滤波方法,可有效去除脉冲噪声,保留信号的边缘

特征,计算复杂度较低;卡尔曼滤波适用于处理动态地球物理数据,能够实时估计和去除噪声,信噪比提升幅度较大,但计算复杂度高。

1.1.3 归一化处理

归一化处理可将不同量纲的数据转换到相同的量纲范围内,便于数据之间的比较和分析。例如,在电法勘探中,将电阻率数据归一化到0-1之间,可消除不同测点之间电阻率值差异较大的影响,突出电阻率异常的变化特征。归一化后,电阻率异常的对比度可提高30%-50%,更有利于弱异常的识别。

1.2 异常特征提取

异常特征提取是从地球物理数据中提取与矿体相关的特征信息,为弱异常识别提供依据。常用的异常特征提取方法有时域分析、频域分析和小波分析等。

1.2.1 时域分析

时域分析通过分析信号的时间序列特性,提取如振幅、频率、相位等时域特征,这些特征对于识别地球物理弱异常信号具有重要意义。例如,在瞬变电磁勘探中,通过分析瞬变电磁响应曲线的衰减特征,可判断地下介质的电性特征,识别与矿体相关的低阻异常。

1.2.2 频域分析

频域分析利用快速傅里叶变换(FFT)等方法将时域信号转换为频域信号,分析信号的频率成分,从而识别异常信号的特征。例如,在地震勘探中,通过对地震反射波的频谱分析,可获取地下地层结构和地质构造信息,识别与矿体相关的弱反射信号。

1.2.3 小波分析

小波变换能够提供信号在不同尺度和时间位置的局部信息,有助于识别复杂地球物理信号中的异常特征。例如,在重力勘探中,利用小波变换的多尺度分析特性,可分解重力异常信号,提取不同尺度的异常特征,识别与深部矿体相关的弱重力异常。

1.3 模型构建与优化

模型构建是地球物理弱异常识别的核心,通过建立物理模型和数学模型来模拟和预测异常。模型优化涉及参数调整、模型选择和算法改进,以提高识别精度和效率。

1.3.1 物理模型构建

物理模型基于地球物理原理,模拟地下介质的物理性质和分布特征,预测地球物理异常。例如,在磁法勘探中,建立磁性体的磁偶极子模型,根据磁性体的磁性参数和几何形状,计算其产生的磁场异常,与实际观测数据进行对比,识别磁性矿体。

1.3.2 数学模型构建

数学模型利用数学方法对地球物理数据进行处理和分析,建立数据与地下介质之间的数学关系,实现异常识别。例如,利用神经网络模型对地球物理数据进行训练和学习,建立输入数据与输出结果之间的非线性映射关系,实现对地球物理弱异常的智能识别。

1.3.3 模型优化方法

基于机器学习的模型优化方法,如遗传算法、粒子群优化等,

为地球物理弱异常识别提供了新的技术路径。遗传算法通过模拟生物进化过程中的自然选择和遗传机制,对模型参数进行优化搜索,找到最优的参数组合,提高模型的识别精度;粒子群优化算法通过模拟鸟群觅食行为,对模型参数进行动态调整,实现模型的全局优化。

2 新疆深部找矿中地球物理弱异常识别实践

2.1 新疆哈腊苏铜矿区

新疆哈腊苏铜矿区矿石类型以稀疏浸染状和细脉浸染状为主。在找矿过程中,借鉴物探方法在新疆东天山斑岩型铜矿带土屋等矿区总结出的斑岩铜矿“三位一体”找矿模式经验,布置了大比例尺地质填图,开展了激电工作和钻探工作。采用激电测深对圈定的激电异常进行解剖,为进一步寻找铜矿提供依据。矿体的极化率比围岩大5.6倍,用激电方法在本区可发现60米以内的中型浸染型硫化物金属矿床。

2.2 新疆卡拉塔格地区铜金矿床

为研究0-300m深度范围内金属硫化物的富集地段,在梅岭铜金矿区的中心地带0勘探线上进行激电测深。中低阻高极化及视金属系数异常主要在80-250m深度范围内,反映了硫化物相对富集的地段。此前物探工作在该剖面的500号点处布置了钻孔ZK001,终孔深度378.78米,穿过酸性火山通道相与基性火山岩围岩的接触带,见多处铜矿体。梅岭矿化蚀变区处于高低磁场的过渡地带,结合地质、高精度磁测异常、激电异常以及激电井-地充电异常,在该剖面上700号点、820号点上又布置了两个钻孔,经钻探验证,见矿效果很好。

钻孔编号	位置	终孔深度(米)	见矿情况
ZK001	500号点	378.78	穿过接触带,见多处铜矿体
新钻孔1	700号点	未提及	见矿效果好
新钻孔2	820号点	未提及	见矿效果好

3 挑战与未来发展方向

3.1 挑战

3.1.1 复杂地质条件下的异常识别

新疆地域广袤,其地质构造犹如一部复杂而神秘的史书,充满了未知与挑战。这里地质活动频繁,历经漫长的地质演化过程,形成了复杂多样的地质构造格局。地下介质的非均质性极为显著,不同区域的岩石性质、密度、磁性等物理特性差异巨大。

地球物理异常就像是地下隐藏信息的“密码”,然而在新疆复杂的地质环境下,这些“密码”受到了多种因素的干扰和影响。以深部找矿工作为例,矿体往往深埋于地下数千米之处。随着深度的不断增加,地球物理异常的强度如同逐渐熄灭的火焰,呈现出明显的衰减趋势。原本就微弱的异常信号,极易被周围复杂的背景噪声所掩盖。这就好比在嘈杂的集市中寻找一声细微的呼唤,难度可想而知。地质勘探人员常常面临着大量的地球物理数据,却难以从中准确识别出与矿体相关的弱异常信号,这无疑给深部找矿工作带来了巨大的阻碍。

3.1.2 大数据处理与分析

随着地球物理勘探技术的飞速发展,我们获取地球物理数据的能力得到了极大提升,但同时也带来了一个严峻的问题——数据量的爆炸式增长。如今,一次地球物理勘探所收集到的数据量往往以TB甚至PB为单位,如此庞大的数据规模,对数据处理和分析提出了前所未有的挑战。

传统的数据处理方法在面对这些海量数据时,显得力不从心。它们就像老旧的马车,难以在大数据的高速公路上快速行驶。传统方法处理数据的速度缓慢,效率低下,而且难以保证处理结果的准确性和可靠性。为了从这些大数据中提取有价值的信息,我们需要发展全新的数据处理算法和技术。这些新技术就像是一把把精准的手术刀,能够快速、准确地剖析大数据,挖掘出其中隐藏的地球物理弱异常信息,从而提高数据处理效率和质量,为深部找矿提供更有力的支持。

3.1.3 人工智能技术应用

人工智能技术作为当今科技领域的热点,在地球物理弱异常识别中展现出了广阔的应用前景。它就像是一位超级智能的“侦探”,能够从海量的地球物理数据中快速寻找出潜在的异常信息。然而,目前人工智能技术在实际应用中还存在着一些亟待解决的问题。

模型训练数据不足是制约人工智能技术在地球物理弱异常识别中应用的一个重要因素。就像一个学生如果没有足够的学习资料,就难以掌握扎实的知识。人工智能模型需要大量的高质量数据进行训练,才能具备良好的性能。此外,模型的泛化能力差也是一个突出问题。这意味着模型在处理新的、未见过的数据时,往往无法准确识别出地球物理弱异常,就像一个只熟悉本地环境的向导,到了陌生的地方就会迷失方向。因此,如何提高人工智能技术在地球物理弱异常识别中的准确性和可靠性,是当前科研人员需要攻克的关键难题。

3.2 未来发展方向

3.2.1 跨学科融合

加强地球物理学、地质学、计算机科学等多学科的交叉融合,充分发挥各学科的优势,共同解决深部找矿中地球物理弱异常识别面临的难题。例如,结合地质勘探资料和地球物理数据,建立更加准确的地质-地球物理模型,提高异常识别的精度。

3.2.2 智能化和自动化

发展智能化和自动化的地球物理弱异常识别技术,减少人工干预,提高识别效率和准确性。例如,利用人工智能技术实现地球物理数据的自动处理、异常特征的自动提取和异常的自动识别,为深部找矿提供更加快速、准确的技术支持。

3.2.3 高分辨率和大数据分析技术

随着高分辨率地球物理勘探技术和大数据分析技术的不断发展,地球物理弱异常识别的数据处理与分析能力将得到显著提升。未来应进一步发展高分辨率地球物理勘探技术,获取更加详细的地下介质信息;同时,加强大数据分析技术的研究和应用,挖掘地球物理数据中的潜在信息,提高异常识别的效果。

4 结论

地球物理弱异常识别作为深部找矿的关键技术,在新疆这片广袤且地质条件复杂的区域,发挥着不可替代的重要作用。在实际操作中,借助数据预处理去除噪声干扰,通过异常特征提取精准捕捉关键信息,再经模型构建与优化提升识别能力,一系列方法有效提高了地球物理弱异常的识别精度与效率。新疆在长期深部找矿实践中,积累了丰富经验,取得了诸如发现大型矿床等显著找矿成果。

不过,深部找矿里地球物理弱异常识别依旧挑战重重。复杂地质条件让异常识别困难重重,大数据处理与分析也面临效率与质量难题,人工智能技术应用还受模型训练等因素制约。展望未来,需加强跨学科融合,汇聚多领域智慧;推进智能化和自动化发展,减少人工干预;强化高分辨率和大数据分析技术研究,挖掘更多潜在信息,为新疆乃至全国深部找矿提供坚实技术支持。

[参考文献]

- [1]张建强,张陆佳,刘小龙,等.基于知识图谱的阿舍勒铜锌矿床研究进展及展望[J/OL].黄金,1-15[2026-03-05].
- [2]胡鹏,张凡颖,王兴明,等.分量化探在琶江地区深部铀矿勘查中的应用研究[J].铀矿地质,2025,41(02):332-346.
- [3]田野.砂岩型铀矿富集测井响应与模糊模式识别预测模型[D].河南理工大学,2024.
- [4]王玉华.金川Ni-Cu-(PGE)硫化物矿床地球化学特征及成矿过程数值模拟研究[D].中南大学,2024.
- [5]石佳磊,欧阳菲,罗先熔,等.基于成分数据分析及S-A分形的地电提取法在川西容须卡地区寻找隐伏锂矿预测研究[J].矿产与地质,2023,37(06):1271-1283.
- [6]张智强.基于机器学习的矿集区尺度三维隐式建模和矿产资源定量预测方法研究[D].中国地质大学(北京),2022.

作者简介:

邢宝隆(1984--),男,汉族,甘肃白银市会宁县人,本科,物探工程师,研究方向:物探不同方法在找矿中的应用,例如电法,磁法,重力。